

VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016 – Córdoba, Argentina.

Características fisicoquímicas y tecnológicas de almidones de mandioca fermentados

Díaz A (1), Dini, C (1), Viña, S (1), García, MA (1)

CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos), Facultad Ciencias Exactas UNLP – CONICET La Plata - CICPBA, 47 y 116 S/Nº, La Plata (B1900AJJ), Buenos Aires, Argentina.

andree.diaz@hotmail.com

RESUMEN

Se estudió el efecto de la fermentación sobre las características fisicoquímicas y tecnológicas del almidón de mandioca. Se realizó la extracción acuosa del almidón, y se fermentó dejándolo en contacto con el sobrenadante de decantación durante 20 días a 20°C. Se estudiaron dos tipos de secado del almidón: al sol (FS) y en estufa a 40°C (FE). El sobrenadante obtenido se ensayó a su vez como starter para la fermentación de almidón nativo de mandioca, y posterior secado al sol (SS) y en estufa (SE). Los microorganismos predominantes en el starter fueron hongos, levaduras y bacterias Gram-positivas, con un valor de pH final de 3,8. Se evidenció una modificación de los gránulos luego de ambas fermentaciones. Los valores de pH de las suspensiones de los almidones obtenidos fueron superiores ($p < 0,05$) para los secados al sol, en ambas fermentaciones. La fermentación modificó ligeramente los parámetros de color a^* , b^* y L^* de los almidones, el DSC mostró una disminución de su temperatura de gelatinización, sin diferencias significativas entre métodos de fermentación y secado. Las pastas de todos los almidones presentaron un comportamiento pseudoplástico-tixotrópico, y los espectros dinámicos mostraron las características viscoelásticas del sistema.

Palabras clave: almidones fermentados, secado, acidez, caracterización fisicoquímica, comportamiento reológico

ABSTRACT

The effect of the fermentation in the physicochemical and rheological characteristics of cassava starch was studied. Starch was extracted using water, the starch slurry was decanted and left in contact with the decantation supernatant for 20 days at 20°C for the fermentation process. Two types of drying were studied: sun-drying and oven-drying at 40°C. The supernatant obtained from this process was used as a starter for the fermentation of a native starch sample, and this fermented starch was oven-dried at 40°C or sun-dried, as previously described. The main microorganisms present in the starter were fungus, yeasts and Gram positive bacteria, and had a pH of 3.8. Microscopic observation of the starch showed granules integrity was reduced after the fermentation. The pH of starch suspensions was significantly lower ($p < 0.05$) for the oven dried starches with respect to the sun dried ones for both fermentation processes. Color parameters a^* , b^* and L^* of the fermented starches were slightly modified. Fermentation also diminished the gelatinization temperature of the starches, but no significant difference ($p > 0.05$) was observed among the different fermentation and drying processes. Starch pastes exhibited a pseudoplastic-thixotropic behavior, and the dynamic spectra showed the viscoelastic characteristics of the system.

Keywords: fermented starches, drying, acidity, physicochemical characterization, rheological behavior.

INTRODUCCIÓN

La mandioca es un cultivo que se consume regularmente en más de 90 países, principalmente de África, Asia y América Latina (Dini et al. 2014). El almidón es el principal producto derivado de la mandioca y es una materia prima muy utilizada gracias a sus características reológicas y de cocción, siendo su temperatura de gelatinización inferior a la de almidones de cereales tales como maíz y trigo, lo cual representa una ventaja para procesos industriales, y además presenta baja tendencia a la retrogradación (Dini et al. 2014). El

153



almidón fermentado de mandioca, denominado almidón agrio en Colombia y *amido azedo* o *polvilho azedo* (almidón ácido) en Brasil, es utilizado para la elaboración de pandebono y pan de yuca en Colombia, y para hacer *pão de queijo* (pan de queso) en Brasil. En África, este almidón fermentado se conoce como *gari* en los países del Este y del Oeste, y *chikwangue* o *fufu* en África Central (Dufour et al. 1996).

Las principales características de este producto son su sabor y aroma, debido principalmente a la presencia de ácido láctico, generado a través de la fermentación por bacterias lácticas, y su capacidad de producir panificados de mayor volumen que aquellos elaborados con el almidón dulce (no fermentado), gracias a una mayor capacidad de retención de gas en sus masas (Mestres et al. 1996). Esta es una característica muy atractiva, principalmente en el mercado de los productos panificados libres de gluten, donde la densidad de la miga suele reducir la palatabilidad de los mismos.

En Argentina no se produce esta materia prima y el mínimo consumo que existe en el país se abastece por importación desde Brasil. El proceso industrial tradicional consiste en la extracción acuosa del almidón de las raíces de mandioca, el cual se almacena en tanques fermentadores de 0,5 a 5 toneladas de capacidad, y el proceso dura entre 20 y 60 días, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar (temperaturas entre 15 y 25°C). Cuando ocurre la fermentación láctica, el pH de las suspensiones de almidón cae a valores de 3,5-4. Es ahí cuando la torta fermentada se extrae y el almidón se dispone en bandejas o en lonas plásticas en el suelo para ser secado al sol. Se ha determinado que ambos procesos, la fermentación y el secado al sol, influyen en las características distintivas de estos almidones para la elaboración de panificados (Dufour et al. 1996).

En este trabajo se analizaron las características de almidones de mandioca fermentados por dos métodos: fermentación natural (F), con la proliferación de la flora propia de las raíces, y con starter (S), iniciando la fermentación con un inóculo obtenido de una fermentación previa. Se realizó un seguimiento del proceso de fermentación por medida del pH del sobrenadante durante los 20 días del proceso y se determinó el tipo de microorganismos involucrados en el mismo mediante tinción de Gram de los sobrenadantes generados. Asimismo, se analizaron las características de los almidones agrios obtenidos por ambos procesos de fermentación y con diferentes procesos de secado: al sol (FS y SS) y en estufa a 40°C (FE y SE). Se evaluó la acidez de los almidones por medida del pH de suspensiones acuosas de los mismos, se analizó la integridad de las partículas para determinar si hubo una modificación de la morfología de los gránulos por el proceso de fermentación, se determinaron los parámetros de color de los almidones y su temperatura de gelatinización por DSC y se evaluaron las características reológicas de las pastas frescas y de las pastas retrogradadas durante 72h a 4°C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción y fermentación de almidón de mandioca

Las raíces de mandioca (variedad Rocha) fueron desinfectadas con agua clorada (250 ppm cloro, 10 minutos) para reducir la carga microbiana superficial, peladas y ralladas con mandolina. La masa total se dividió en 3 bachas (2,4 kg de raíz procesada por bacha), a cada una se les adicionaron 5 L de agua corriente y se procesaron con minipimer. Las bachas se dejaron 24 h a 4°C; posteriormente se filtraron con muselina para remover el bagazo, y la lechada de almidón se dejó decantando en las respectivas bachas a 4°C durante 24h. Luego se eliminó el sobrenadante de la bacha #1 y el almidón decantado se llevó a secar a 40°C (almidón nativo). Las bachas 2 y 3 se taparon con papel film y se llevaron a 20°C para iniciar la fermentación.

Se midió pH de cada uno de los sobrenadantes a lo largo de los 20 días de fermentación utilizando un electrodo de vidrio. Pasado este tiempo, se retiraron los almidones decantados de cada bacha, se pesaron y se dividieron en dos partes iguales: una parte fue a secado en estufa a 40°C y la otra a secado al sol (FE y FS, respectivamente). El sobrenadante obtenido de cada bacha se reservó para ser utilizado como starter en la siguiente fermentación. Se tomó una alícuota (100 µl) de este sobrenadante para realizar un extendido en portaobjetos y tinción de Gram, a fin de ver en líneas generales el tipo de microorganismos que proliferaron durante la fermentación.

Fermentación del almidón de mandioca utilizando un starter



Se pesaron en 2 bachas respectivamente 100 g almidón nativo de mandioca, a cada uno se les adicionaron 1,9 L de agua corriente + 100 ml de los sobrenadantes de las bachas 2 y 3 obtenidos de la fermentación anterior. Se dejaron fermentando tapadas a 20°C y se midió el pH del sobrenadante a lo largo de la fermentación. Los almidones de cada bacha se dividieron en dos partes iguales, una fue secada al sol y la otra en estufa a 40°C, tal como se mencionó anteriormente (Almidones SS y SE, respectivamente).



Caracterización de los almidones

Acidez

Se realizó una suspensión al 10 % p/v de cada una de las muestras de almidón, se agitó a temperatura ambiente durante 30 minutos, se centrifugó y se midió el pH de cada sobrenadante.

Evaluación de la integridad de las partículas por microscopía óptica

Se realizó un extendido de suspensiones acuosas de cada uno de los almidones analizados en un portaobjetos y los gránulos se tiñeron con lugol para incrementar el contraste. Se evaluó la integridad y tamaño de los gránulos por microscopía óptica, utilizando un objetivo con aumento de 40x .

Color

Se caracterizó el color de los almidones obtenidos de las diferentes fermentaciones y el nativo utilizando un colorímetro CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japón). Los valores de la escala CIE empleada se expresaron en términos de luminosidad (L^*), coordenada rojo-verde (valor a^*), y coordenada azul-amarillo (valor b^*).

Propiedades térmicas: DSC

Se prepararon suspensiones de almidón al 20% p/p en agua destilada y se sometieron a un programa de calentamiento de 10 a 120° C, a una velocidad de barrido de 10°C/ min. Una vez corridas las muestras, las cápsulas se perforaron y se llevaron a estufa a 105°C hasta peso constante para determinar el peso seco de la muestra.

A partir de los termogramas se estimaron las temperaturas (°C) de pico (T_p) y de inicio (T_0) de la transición así como la entalpía (ΔH) correspondiente al área de los picos, expresada como J/g (en base seca).

Propiedades reológicas

Los ensayos reológicos se realizaron en un reómetro Rheo Stress 600 ThermoHaake (Haake, Alemania) usando un sistema plato-plato PP35 con una separación entre platos de 1mm, a temperatura controlada (20°C). Las pastas se prepararon a partir de suspensiones acuosas de almidón (5% p/p) las cuales fueron gelatinizadas a 90°C durante 20 minutos y se enfriaron a temperatura ambiente.

Para investigar el comportamiento de flujo de las suspensiones de almidón se utilizó el modo rotacional donde se registró el esfuerzo de corte variando la velocidad de deformación desde 0 hasta 500 s⁻¹ en un lapso de 3 min, manteniendo a máxima velocidad (500 s⁻¹) durante 1 min y luego descendiendo con el mismo gradiente y tiempo (tiempo total de corrida: 7 min).

Se calculó la viscosidad aparente a 500s⁻¹ y para evaluar la dependencia con el tiempo se determinaron los índices de tixotropía, que corresponden al área de histéresis entre las curvas ascendente y descendente. El comportamiento de flujo se modeló matemáticamente utilizando el modelo de Ostwald de Waele:

$$\tau = k \dot{\gamma}^n$$

Donde τ es el esfuerzo de corte, k es el índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación y n es el índice de flujo.

Para caracterizar el comportamiento viscoelástico de las suspensiones de almidón gelatinizadas se realizaron ensayos en modo dinámico. Se realizaron barridos de frecuencia a un valor de esfuerzo constante de 1 Pa, dentro del rango de viscoelasticidad lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación al acondicionamiento de la materia prima previo a la extracción del almidón, cabe aclarar que la desinfección descrita se llevó a cabo sobre las raíces con cáscara, principalmente para eliminar la carga microbiana proveniente del suelo. Mediante este pre-tratamiento se buscó favorecer el desarrollo de los microorganismos capaces de fermentar el almidón por sobre aquellos que no pueden utilizar esta fuente de carbono.

Durante el proceso de fermentación natural y con starter de los almidones, se monitoreó el pH de los sobrenadantes a lo largo de los 20 días del proceso. Los perfiles de pH obtenidos se muestran en la **Figura**



1A.

Como era de esperarse, en la fermentación natural se produjo al principio una caída abrupta en el valor de pH, debido a la proliferación de microorganismos en presencia de altas concentraciones de nutrientes. Los valores de pH registrados se mantuvieron relativamente constantes hasta el quinto día del proceso, después del cual se registró un descenso gradual del mismo hasta el día 12, estabilizándose hacia el fin de la fermentación. Por el contrario, en la fermentación con starter, el pH inició en un valor bajo (4,6), propio de la adición del sobrenadante de fermentación, registrándose luego un aumento de pH en los primeros dos días del proceso. Luego descendió gradualmente hasta los 20 días, con un valor final de 4,5, similar al observado al principio de la fermentación.

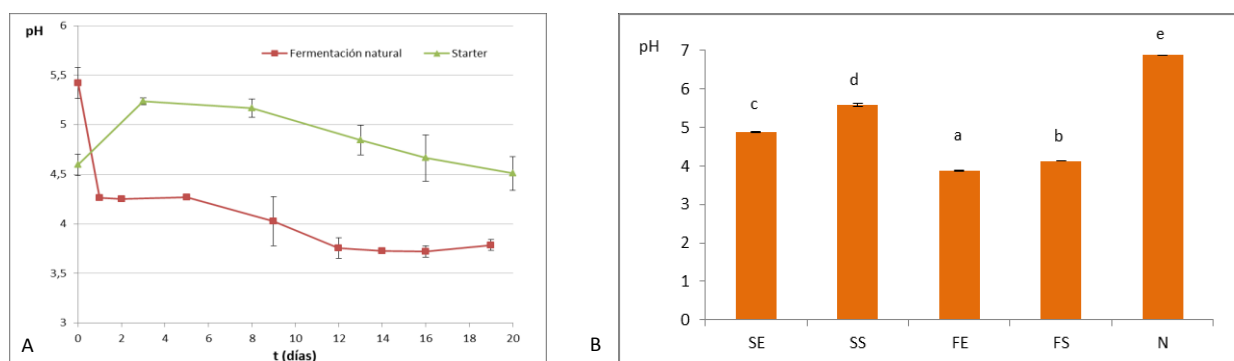


Figura 1. A) Cinéticas de pH de los sobrenadantes durante el proceso de fermentación natural y con starter.

B) pH de los sobrenadantes de suspensiones de los almidones fermentados (SE, SS, FE y FS) y nativo (N)

En la **Figura 1B** se muestran los valores de pH obtenidos para suspensiones de los diferentes almidones fermentados y del almidón nativo. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la acidez de almidones entre los diferentes tratamientos y todos resultaron más ácidos que el control de almidón nativo. Se observa que, dentro de un mismo proceso fermentativo, los almidones secados en estufa presentan mayor acidez que los secados al sol, en concordancia con lo informado por Dufour et al. (1996) donde se plantea que existe una reducción del contenido de ácido láctico por la exposición a la luz solar, probablemente debido a una reacción fotoquímica. En cuanto al proceso fermentativo, ambos almidones sometidos a fermentación natural resultaron más ácidos que los fermentados con starter, la misma tendencia que se observa para los pHs finales de los sobrenadantes de cada fermentación (**Fig. 1A**).

Los microorganismos que proliferan durante la fermentación producen ácidos orgánicos que pueden modificar los gránulos de almidón. Se ha informado que este efecto se asocia principalmente a la presencia de ácidos láctico, acético, butírico, propiónico, fórmico y succínico (García et al. 2016). La observación microscópica de los gránulos demostró que los tratamientos afectaron la integridad de los mismos (**Figura 2**). Para ambos tipos de fermentación, se observó que el secado en estufa (FE y SE) produjo el colapso de la mayor parte de los gránulos (**Fig. 2A y 2B**, respectivamente). El almidón fermentado con starter y secado al sol (SS) presentó cierta destrucción de los gránulos (**Fig. 2D**), pero no tan evidente como en el secado en estufa. Por el contrario, los gránulos del almidón obtenido por fermentación natural y secado al sol (FS) no presentaron alteraciones (**Fig. 2C**), resultando similares al almidón nativo (**Fig. 2E**). La diferencia observada entre los almidones fermentados naturalmente (**Fig. 2A y C**) y con starter (**Fig. 2B y D**) puede deberse en parte a que estos últimos se encontraron en contacto con ácidos orgánicos desde el principio del proceso fermentativo.



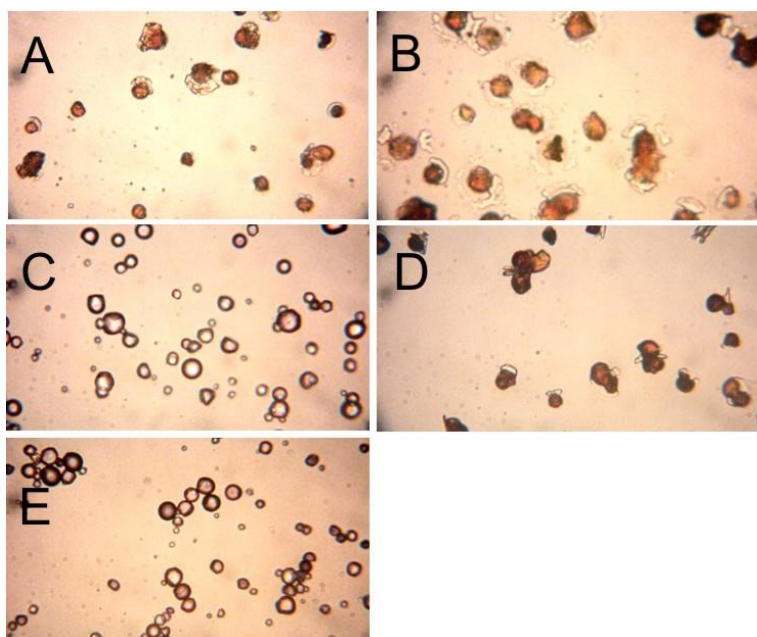


Figura 2. Tinción con lugol de los gránulos de almidón con diferentes tratamientos de fermentación y secado y sin tratar: A) FE, B) SE, C) FS, D) SS y E) Almidón nativo

En cuanto al color de los productos obtenidos, en la **Tabla 1** puede observarse que los almidones fermentados y luego secados al sol presentaron un valor de luminosidad significativamente más alto que el nativo, lo que indica una mayor blancura. En cuanto al parámetro a^* , todos los almidones presentaron un valor menor que el del almidón nativo, la misma tendencia se observa para el parámetro b^* , indicando que las diferentes fermentaciones reducen la leve tonalidad amarillenta del almidón nativo. Esto resultó particularmente evidente en el caso del FS, cuyo valor de b^* fue el más bajo, en concordancia con el aumento significativo ($p < 0.05$) observado para la luminosidad del mismo respecto del almidón nativo (**Tabla 1**).

158

Tabla 1. Parámetros de color L, a^* y b^* de los almidones

	L	a^*	b^*
N	97,82±1 ^a	0,3±0,03 ^d	2,24±0,097 ^c
FE	98,35±0,64 ^{ab}	0,1±0,03 ^b	2 ±0,1 ^b
FS	98,8±0,45 ^b	0,24±0,01 ^c	1,47±0,08 ^a
SE	98,12±0,83 ^{ab}	0,08±0,02 ^b	2,02 ± 0,14 ^b
SS	98,36±0,18 ^{ab}	0,06±0,01 ^a	1,97 ± 0,04 ^b

Nota: Los valores informados corresponden a las medias ± la desviación estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En cuanto a las propiedades térmicas de los almidones obtenidos, por DSC se encontró que la fermentación disminuyó la temperatura de gelatinización, no observándose diferencias significativas entre los diferentes métodos de secado. Además, el almidón obtenido por fermentación con starter y secado en estufa presentó la menor temperatura de gelatinización, probablemente relacionado con el mayor daño observado en los gránulos. La alteración de la integridad granular se ve reflejada también en la menor temperatura de inicio del proceso (T_0). Sólo se observó un cambio significativo en la entalpía de gelatinización para el almidón fermentado secado en estufa (FE).

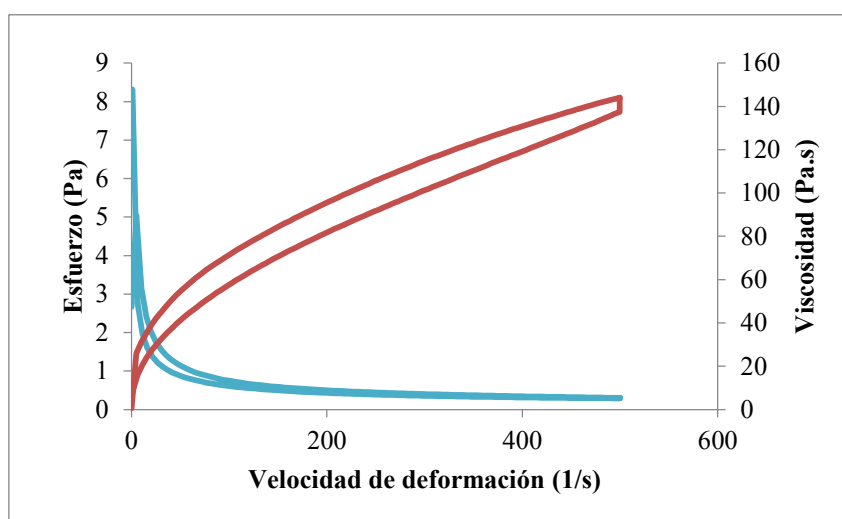


Tabla 2. Temperaturas de inicio y de pico (T_o y T_p) y entalpía de gelatinización (ΔH) de almidón de mandioca nativo y modificados físicamente

Almidón	T_o (°C)	T_p (°C)	ΔH (J/g, base seca)
Nativo	$60,85 \pm 0,5^b$	$68,5 \pm 0,7^c$	$15 \pm 1,0^b$
FS	$60,5 \pm 0,9^b$	$66,8 \pm 0,4^b$	$15,5 \pm 0,5^b$
FE	$59,5 \pm 0,7^b$	$66,9 \pm 0,2^b$	$11,8 \pm 0,7^a$
SS	$57,4 \pm 0,4^a$	$66,1 \pm 0,4^{ab}$	$15,07 \pm 0,01^b$
SE	$57,3 \pm 0,9^a$	$65,54 \pm 0,08^a$	$14,2 \pm 0,3^b$

Nota: Los valores informados corresponden a las medias \pm la desviación estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El comportamiento de flujo de las suspensiones de almidón se analizó utilizando el modo rotacional. Todas las pastas presentaron un comportamiento del tipo pseudoplástico, ya que la viscosidad y el esfuerzo de corte disminuyeron con el aumento de la velocidad de deformación. Un ejemplo del tipo de curva de esfuerzo en función de la velocidad de deformación se muestra en la **Figura 3**. Esto también se ve reflejado en los valores de n (índice de comportamiento de flujo) obtenidos, que resultaron menores a uno en todos los casos (**Tabla 3**).

**Figura 3.** Ejemplo de curvas de flujo obtenidas mediante ensayos reológicos rotacionales. Curva celeste: Viscosidad vs. Velocidad de deformación. Curva roja: esfuerzo vs. Velocidad de deformación.**Tabla 3.** Parámetros obtenidos del ensayo rotacional. Modelado de la curva.

	K	n	r	Tixotropía (Pa/s)	Viscosidad 500 s ⁻¹ (Pa s)
FS	$5,1845 \pm 0,26^b$	$0,5282 \pm 0,0019^a$	0,9992	$6287,5 \pm 37,5^a$	$0,29 \pm 0,01^b$
FE	$5,3175 \pm 0,12^b$	$0,5387 \pm 0,0003^a$	0,9991	8717 ± 625^b	$0,319 \pm 0,007^b$
SS	$3,47 \pm 0,87^a$	$0,5526 \pm 0,03^a$	0,9993	$7743,5 \pm 593^b$	$0,22 \pm 0,01^a$
SE	$6,582 \pm 0,15^c$	$0,5313 \pm 0,0028^a$	0,9991	15460 ± 636^c	$0,38 \pm 0,06^c$
N	$6,136 \pm 0,34^{bc}$	$0,5604 \pm 0,0022^a$	0,9986	25905 ± 346^d	$0,43 \pm 0,02^d$

Nota: Los valores informados corresponden a las medias \pm la desviación estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).



En la **Tabla 3** también se observa que todas las pastas presentaron un valor de viscosidad aparente significativamente menor ($p < 0,05$) a la del almidón nativo. Lo mismo ocurre con los valores de tixotropía. Estos resultados podrían explicarse teniendo en cuenta las alteraciones que se producen en los gránulos de almidón en mayor o menor grado por la fermentación microbiana. Además se ha informado que los ácidos orgánicos modifican el almidón e inducen en él diferentes efectos como su hidrólisis y entrecruzamientos, dependiendo del tipo y concentración de ácido orgánico (Reddy y Yang 2010, Kaur et al. 2012, Zhu 2015). Para analizar el efecto de la retrogradación, se obtuvieron los barridos de frecuencia de las pastas almacenadas durante 72 h en condiciones de refrigeración (**Figura 4**). Se tomaron los valores de G' y G'' a 1 Hz, los resultados se muestran en las **Figuras 5 y 6**.

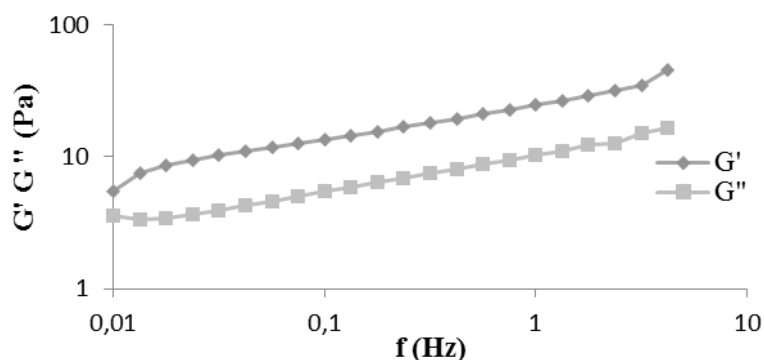


Figura 4. Ejemplo de espectro mecánico obtenido mediante los barridos de frecuencia.

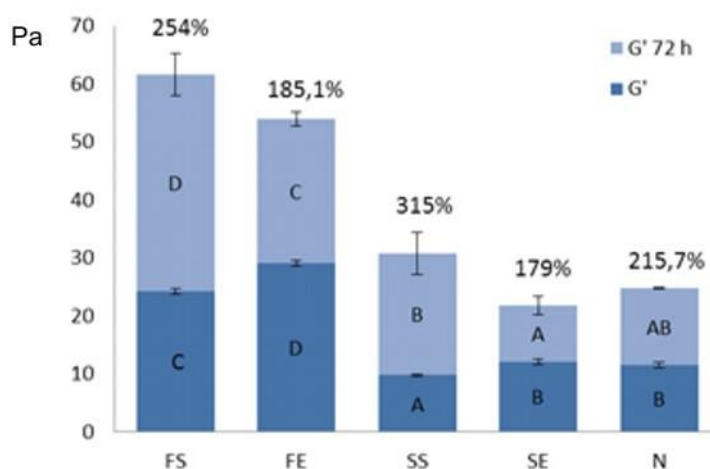


Figura 5. Efecto del almacenamiento refrigerado 4°C-72 h sobre el módulo elástico. Sobre cada columna se muestra el % de aumento de G' . Letras diferentes dentro de una serie de columnas del mismo color indican diferencias significativas.



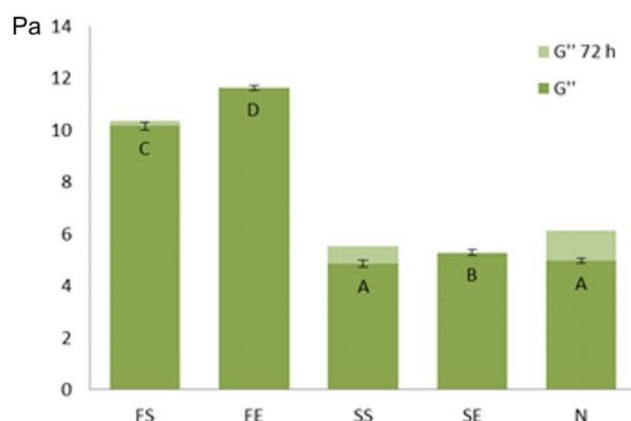


Figura 6. Efecto del almacenamiento refrigerado 4°C-72 h sobre el módulo viscoso. Letras diferentes dentro de una serie de columnas del mismo color indican diferencias significativas.

En todos los casos se observó que los valores de G' resultan mayores que los de G'' , con una leve dependencia de la frecuencia, lo que indica que las pastas se comportan como geles débiles. Las pastas del almidón tratado con el starter y luego secado en estufa presentaron un valor de G' similar al que se obtuvo para el almidón nativo. La misma tendencia se observó en los ensayos rotacionales donde los parámetros de viscosidad aparente y tixotropía, si bien difieren significativamente del control, presentan valores cercanos a las pastas de almidón nativo (**Tabla 3**). Dado que los almidones SS y SE tienen una menor acidez que los fermentados, probablemente en estos casos la modificación del almidón durante la gelatinización por los ácidos orgánicos generados no sea tan relevante.

En cuanto a los resultados obtenidos luego de 72 h de refrigeración se observa que todas las pastas retrogradaron, esto se ve reflejado en el aumento de la componente elástica que es la más afectada por el fenómeno.

161

CONCLUSIONES

Los dos tipos de fermentación generaron perfiles de pH diferentes, lo que se vio reflejado en productos con características diferentes. En general ambas fermentaciones reducen la leve tonalidad amarillenta del almidón nativo.

La fermentación con starter indujo la mayor alteración en la morfología e integridad de los gránulos probablemente debido a la presencia de ácidos orgánicos desde el inicio del proceso. Estas alteraciones se reflejaron en la modificación de las temperaturas de inicio y de gelatinización de los almidones fermentados así como en el comportamiento reológico de las pastas obtenidas.

Ambos métodos de fermentación propuestos representan una alternativa económica y de fácil escalado que permite obtener productos con propiedades tecnológicas distintivas entre sí y diferentes a las del almidón nativo. El secado al sol, además de ser la opción más rentable, permite obtener los derivados con menor acidez siendo esta una característica sensorial relevante para su aplicación como ingrediente alimentario.

BIBLIOGRAFÍA

- Dini C, Doporto MC, Viña SZ, García MA. 2014. Cassava flour and starch as differentiated ingredients for gluten free products. En: Molinari FP, editor. Cassava: Production, Nutritional Properties and Health Effects. 1ª ed. New York: Nova Science Publishers. pag. 87-114.
- Dufour D, O'Brien GM, Best R. 1996. Cassava flour and starch: progress in research and development. 1ª ed. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. pag. 409.
- Dufour D, Larssonneur S, Alarcón F, Brabet C, Chuzel G. 1996. Improving the bread-making potential of



- cassava sour starch. En: Dufour D, O'Brien GM, Best R, editores. Cassava flour and starch : progress in research and development. Vol. 271. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. pag. 133-142.
- Garcia MC, Franco CML, Júnior MSS, Caliari M. 2016. Structural characteristics and gelatinization properties of sour cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2): 919-926.
- Kaur B, Ariffin F, Bhat R, Karim AA. 2012. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*, 26: 398-404.
- Mestres C, Rouau X, Zakhia N, Brabet C. 1996. Physicochemical properties of cassava sour starch. En: Dufour D, O'Brien GM, Best R, editores. Cassava flour and starch: progress in research and development. Vol. 271. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical. pag. 143-149.
- Reddy N, Yang Y. 2010. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry*, 118: 702–711.
- Zhu F. 2015. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 122: 456–480.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con la ayuda de los proyectos: PICT 2011-1213 y 2015-0921 (ANPCyT, Argentina) y del Proyecto de Vinculación Tecnológica PVT “Productos de la modificación de almidón de mandioca mediante procesos de bajo impacto ambiental para el agregado de valor y su aplicación como ingredientes alimentarios”.

